Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, July-August 2020, p. 549-563

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۵۶۳-۵۴۹

مقاله علمی-پژوهشی

اثر توأم رژیم‌های آبیاری و کود نیتروژن بر تغییرات رطوبتی خاک و عملکرد ذرت دانه‌ای با سامانه آبیاری قطره‌ای تیپ

نادر کوهی چله کران[۱]- حسین دهقانی سانیج[۲]*- امین علیزاده[۳]- الهه کنعانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۶

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر رژیم‌های آبیاری قطره‌ای و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای (SC 704) و تغییرات رطوبت خاک در استان کرمان طی سال‌های زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۱ انجام گردید. طرح آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی شامل سه تیمار اصلی رژیم‌های آبیاری (I_1=100، I_2=80 و I_3= 60%ET_c) و پنج تیمار فرعی سطح کود نیتروژنه = N_1 (0، N_2= 50، N_3= 100، N_4= 150 و N_5= 200 کیلوگرم‌برهکتار) اجرا شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان عملکرد (۸/۸۵ تن در هکتار) به تیمار I_1 اختصاص یافت. کاربرد نیتروژن بیش از اندازه تأثیر منفی در عملکرد دانه ذرت داشت. مصرف بیشترکود نیتروژن موجب طولانی شدن دوره رشد رویشی، افزایش شاخ و برگ گیاه و متعاقب آن موجب افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه می‌شود و این امر می‌تواند موجب کاهش عملکرد دانه ذرت گردد. همچنین در خاک‌هایی که کمبود نیتروژن دارند با افزودن نیتروژن عملکرد دانه ذرت افزایش می‌یابد ولی پس از رسیدن به حداکثر عملکرد افزودن نیتروژن تاثیری نداشته و باعث کاهش عملکرد می‌شود. اثرات متقابل تیمارها نشان داد که تیمارهای I_1N_4 بیشترین (۱۰/۶ تن در هکتار) و تیمار I_3N_1 کمترین (۱/۲۴ تن در هکتار) عملکرد دانه ذرت را داشتند. بیشترین و کمترین اجزای عملکرد ذرت به ترتیب در تیمارهای I_1N_4 و I_3N_5 مشاهده شد. بیشترین میزان کارایی مصرف آب (۱/۲۶۸ کیلوگرم بر متر مکعب) در تیمار I_2N_4 و کمترین آن (۰/۰۶۸ کیلوگرم بر متر مکعب) در تیمار I_3N_1 بدست آمد. رطوبت باقی‌مانده در خاک با کاهش مقدار آب آبیاری و کود نیتروژن در ۲۰ روز پس از کشت کاهش یافت. در ۴۵ روز بعد از کاشت و در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری، رطوبت باقی‌مانده در خاک برای تیمارهای I_1، I_2 و I_3 به کمتر از نقطه پژمردگی دائم رسیدند. نتایج حاصل از این پژوهش این مهم را به ما نشان می‌دهد که تحت شرایط تنش آبی، امکان دسترسی به میزان عملکرد و کارایی مصرف آب بیشتر محصول به همراه شرایط رطوبتی مساعد و مطلوب، با اعمال میزان مناسب سطوح کودی امکان‌پذیر است و و تیمار I_2N_4 می‌تواند گزینه کاربردی مناسبی باشد.

واژه‌های کلیدی: رژیم آبیاری، رطوبت خاک، سطوح مختلف کودی، قطره‌ای سطحی

مقدمه

خشکی یکی از عواملی است که عملکرد محصولات کشاورزی به ویژه ذرت را در اکثر نقاط جهان تهدید می‌کند (۱). تنش خشکی اثرات منفی بر روی رشد و عملکرد گیاه دارد که از جمله می‌توان به کاهش سطح برگ، ارتفاع گیاه، رشد ساقه، عملکرد دانه اشاره کرد (۲۰ و ۲۵). تحت شرایط کمبود آب، اثربخشی و کارایی مصرف کود کاهش می‌یابد، به ویژه اگر مصرف کود با رشد رویشی گیاهان سازگار نباشد. در میان کودها نیتروژن از مهم‌ترین عناصر غذایی موردنیاز ذرت به شمار می‌رود و مدیریت مصرف این کود به منظور موفقیت در افزایش تولید ذرت از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. بنابراین، در شرایط کمبود آب، مصرف متعادل و بهینه کود در راستای دستیابی به افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب باید مورد توجه قرار گیرد (۵ و ۱۰). با توجه به اینکه تقاضا و جذب نیتروژن تابعی از رشد ریشه و

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران
۲- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: h.dehghanisanij@areeo.ac.ir
۳- استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
۴- دانشجوی دکتری، گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه بین‌الملل امام خمینی، قزوین، ایران

DOI: 10.22067/jsw.v34i3.80916

ساقه هستند، از این‌رو، بهینه سازی مقدار N بر اساس مقدار آب موجود برای بهبود تولید ذرت در سطح محلی و منطقه ای ضروری است. پاسخ گیاه ذرت به کاربرد کود نیتروژن از واریته به واریته، مکان به مکان و همچنین بسته به در دسترس بودن مواد مغذی متغیراست. نتایج تحقیقات نشان داده است که ارقام مختلف ذرت در واکنش به کود نیتروژن به طور قابل‌توجهی تفاوت داشتند (۱۱ و ۱۸). نتایج تحقیقات مختلف کودی بر روی ارقام ذرت هیبریدی نشان‌دهنده نیاز به مقدار کودی بالا (۲۴۰ کیلوگرم در هکتار) برای عملکرد مطلوب بود (۲۱). اما باید در نظر داشت که کاربرد نامناسب و فراوان کود نیتروژن اثرات نامطلوبی را در نتیجه تجمع نیترات در محیط ریشه به دنبال دارد (۲۶). در تحقیق دیگری سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد ذرت مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داد که بیشترین میزان عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد و این سطح کودی برای رسیدن به بالاترین عملکرد و اجزای عملکرد بهترین اثربخشی را به دنبال دارد (۲). افزایش سطوح کودی نیتروژن تا ۲۶۰ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش قابل‌توجه عملکرد دانه رقم Sc.640 شد، اما در سایر رقم‌ها (Sc.704 و Mobeen، DKC6589) افزایش کود نیتروژن تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش عملکرد دانه شد (۱۶). در تحقیقی توسط مدحج و مجدم (۱۵) بالاترین کارآیی مصرف آب به تیمار آبیاری مطلوب همراه با کاربرد کود نیتروژن به میزان ۲۴۰کیلوگرم در هکتار اختصاص یافت. همچنین این محققان گزارش کردند که تحت شرایط تنش خشکی شدید، علاوه بر اینکه نمی‌توان از طریق افزایش میزان نیتروژن مصرفی، خسارت های مربوط به عملکرد دانه را کاهش داد، بلکه عدم تاثیر سطوح بالای نیتروژن بر عملکرد دانه ممکن است به افزایش هدرروی نیتروژن در اثر عدم جذب آن نیز منجر شود (۱۵). در تحقیق دیگری نیز در شرایط استفاده از سطوح مختلف کود نیتروژن بیان کردند که مصرف کود نیتروژن به میزان ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و استفاده از هیبرید S.C 704 برای به دست آوردن حداکثر عملکرد بسیار توصیه می‌شود (۹). دیگر یافته‌ها نیز نشان داد که بالاترین عملکرد بیوماس ذرت در شرایط بدون کم‌آبیاری در طی دو سال زراعی به ترتیب با میزان سطوح کود نیتروژن برابر با ۱۲۰، ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همچنین در شرایط کمبود آب خاک، میزان استخراج آب از خاک در شرایط سطوح کودی نیتروژن برابر با ۱۲۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار بالاتر بود (۱۹). محققان گزارش کردند که بین رطوبت موجود در خاک و قابلیت استفاده از مواد مغذی موجود در خاک رابطه نزدیکی وجود دارد به طوری‌که می‌توان اینگونه بیان کرد که بازدهی قابل قبول کاربرد کود را می‌توان حاصل از شرایط آبی موجود در خاک دانست (۸). همچنین یافته‌های حاصل از تحقیقات در نقاط مختلف جهان حاکی از وجود همبستگی مثبت بین میزان آبیاری و کوددهی هستند و بیان کردند که کوددهی در شرایط مطلوب آبی نسبت به شرایط تنش آبی کارایی بیشتر و قابل‌قبول‌تری را دارد (۶ و ۱۴). از آنجایی‌که تحت شرایط کمبود آب در خاک، جذب عناصر غذایی به ویژه نیتروژن کاهش می‌یابد، بنابراین لزوم برقراری تناسب میان رطوبت موجود در خاک و نیتروژن مصرفی ضروری به نظر می‌رسد (۳). باید توجه داشت که اعمال درست میزان کود نیتروژن به گیاه ذرت باعث می‌شود که آب به طور مؤثرتری به مصرف گیاه برسد و ظرفیت ریشه‌های گیاه را برای جذب میزان بیشتر رطوبت از خلل و فرج خاک افزایش می‌دهد. اعمال میزان بهینه آب موردنیاز گیاه و مصرف عناصر غذایی کافی به خصوص نیتروژن در گسترش سیستم های ریشه‌ی عمیق‌تر و وسیع‌تر گیاه در طی فصل رشد اهمیت زیادی دارد. از آنجاییکه بهره‌برداری درست از میزان آب موجود در خاک ارتباط نزدیکی با رشد ریشه دارد، در نتیجه در شرایطی که رطوبت موجود در خاک کمتر از حد مطلوب باشد تغذیه مناسب و بهینه گیاه می‌تواند اثر مثبتی بر روی افزایش عملکرد و کارآیی مصرف آب به همراه داشته باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات توأم رژیم-های مختلف آبیاری همراه با سطوح مختلف کود نیتروژن نیتروژن بر میزان عملکرد ذرت دانه‌ای (SC 704) و تغییرات رطوبت خاک تحت سامانه آبیاری قطره‌ای تیپ در شرایط آب و هوایی استان کرمان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

مشخصات کلی محل اجرا

این پژوهش طی دو سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ و ۱۳۹۳- ۱۳۹۲ در ایستگاه شهید زنده روح جوپار متعلق به مرکز تحقیقات و منابع طبیعی استان کرمان با موقعیت طول جغرافیایی ۵۷°۱۴′، عرض جغرافیایی ۳۱°۷′ و ارتفاع ۱۷۴۹ متری از سطح انجام شد. بنابر اطلاعات ایستگاه هواشناسی کرمان، این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های معتدل است. میانگین درجه حرارت ۱۷ درجه سلسیوس، متوسط تبخیر سالانه آن از تشتک تبخیر کلاس A، ۲۷۹۲ میلی‌متر، متوسط رطوبت نسبی هوا ۳۱/۵ درصد و متوسط بارندگی سالانه آن ۱۲۴ میلی‌متر می‌باشد. داده‌های هواشناسی موردنیاز شامل دمای حداقل و حداکثر، مقدار بارندگی، سرعت باد و ساعات آفتابی از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کرمان در ۱۵ کیلومتری محل آزمایش، اخذ شد (جدول ۱).

طبق نشریه ۵۶ فائو (۴) عمق توسعه ریشه ذرت ۱/۷-۰/۷ متر اعلام شده است که در این پژوهش به‌منظور تعیین خصوصیات خاک و با توجه به شرایط خاک، نمونه¬برداری¬ها تا عمق۹۰ سانی¬متری به ترتیب از اعماق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری خاک انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ و ۳ ارایه شده است.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی محل اجرای پژوهش

Table 1- Meteorological information of the tested site

	۱۳۹۱-۱۳۹۲ 2012-2013						۱۳۹۲-۱۳۹۳ 2013-2014					
ماه Month	ساعات آفتابی Sunshine duration (h)	رطوبت نسبی RH (%)	دمای ماکزیمم Tmax (°C)	دمای مینیمم Tmin (°C)	بارش P (mm)	سرعت باد U_2 (m/s)	ساعات آفتابی Sunshine duration (h)	رطوبت نسبی RH (%)	دمای ماکزیمم Tmax (°C)	دمای مینیمم Tmin (°C)	بارش P (mm)	سرعت باد U_2 (m/s)
خرداد June	9.8	17.09	32.25	14.85	0	4.02	12.11	21.75	33.06	14.7	0	3.51
تیر July	10.75	22.2	32.98	15.76	0	3.85	11.42	16.9	37.02	19.28	0.0003	3.48
مرداد August	11.17	23	35.92	18.43	0	3.72	12.08	17.75	37.89	18.77	0	3.76
شهریور September	11.96	22.74	33.72	14.25	0	3.64	10.93	23.58	35.27	16.25	0.245	3.60
مهر October	9.87	27.51	31.31	12.53	0.1	3.32	10.86	18.6	34.03	12.58	0	3.075

جدول ۲- بافت خاک محل مورد آزمایش

Table 2- Soil texture of the tested site

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	رسی Clay (%)	شنی Sand (%)	سیلتی Silt (%)	ظرفیت زراعی FC (%)	پژمردگی دائم pw (%)
0-30	Silty clay loam	6	86	8	16.3	5.8
30-60	Silty clay loam	10	81	9	16.5	6.6
60-90	Silty clay loam	9	80	11	17.2	7.3

جدول ۳- مشخصات فیزیکی خاک محل مورد آزمایش

Table 3- Physicochemical properties of the studied soil

عمق خاک Soil depth (cm)	آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول (میلی اکی والان در لیتر) Soluble anions and cations (meq/lit)						SAR	pH	EC_e (dS/m)
	SO_4^{-2}	HCO_3^-	Cl^-	Na^+	Mg^{+2}	Ca^{+2}			
0-30	8.63	2.8	8	5.21	10	10	1.65	8	0.85
30-60	7.9	4	4	4.78	4	6	2.13	7.59	0.9
60-90	5.52	4	2	4.93	10	4	1.78	7.53	0.78

جدول ٤- خصوصیات شیمیایی و کیفی آب آبیاری

Table 4- Chemical and qualitative properties of the irrigation water

pH	EC (dS/m)	آنیون‌ها Anions (meq/lit)				کاتیون‌ها Cations (meq/lit)					
		CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	K^+	Na^+	Fe^{++}	Mn^{++}
7.9	0.63	-	3.2	2	1.6	2.4	1.4	-	3.2	0.078	0.014

آبیاری کلیه کرت‌ها در داخل مزرعه به صورت قطره‌ای با استفاده از نوارهای پلاستیکی (Tape) با فاصله نازل‌های ۲۰ سانتی‌متر، فشار اسمی ۰/۶ اتمسفر و دبی خروجی ۶ لیتر بر ساعت در طول یک متر از نوار انجام شد. به منظور تعیین خصوصیات شیمیایی آب به لحاظ بررسی کل املاح محلول در آب ، EC، pH، کلسیم، سدیم و منیزیم ، دو نمونه آب از هیدرانت واقع در محل طرح برداشت گردید که نتایج تجزیه آن در جدول ۴ ارائه شده است.

این پژوهش بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمار اصلی شامل سه رژیم آبیاری (I_1=100، I_2=80 و I_3=60% ET_c) و تیمار فرعی شامل ۵ سطح کود نیتروژنه (N_1=0، N_2=50، N_3=100، N_4=150 و N_5=200 کیلوگرم بر هکتار) بود. تعداد کرت در هر بلوک ۱۵ عدد،

تعداد خط در هر کرت ۴ و طول هر خط ۶ متر به فاصله ۷۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها در نظر گرفته شد. فاصله کشت روی پشته ۱۷ سانتی‌متر و در نتیجه تراکم کشت برابر با ۷۸۰۰۰ بوته در هکتار بود. فاصله بین تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد. تعداد تیمارها برابر با ۱۵ و کل کرتهای آزمایشی با احتساب تکرارها برابر با ۴۵ کرت بود. مقدار کودهای شیمیایی دیگر به غیر از نیتروژن براساس آزمون خاک و توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور شامل ۱۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریبل و ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم بود. عملیات کوددهی نیز بر اساس نتیجه آزمون خاک صورت گرفت. برای محاسبه حجم آب مصرفی، تبخیر - تعرق پتانسیل (ET_o) با استفاده از اطلاعات روزانه هواشناسی و با روش پنمن- مانتیث (PM) تعیین گردید (۴)، سپس با استفاده از ضریب گیاهی (K_c) برای ذرت در دوره‌های مختلف رشد، تبخیروتعرق گیاه مطابق رابطه (۱) بدست آمد:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (۱)$$

در این رابطه ET_c: تبخیر و تعرق روزانه گیاه (mm/day)، ET_o: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)، K_c: ضریب گیاهی روزانه ذرت در دوره‌های مختلف رشد برای منطقه کرمان با استفاده از دستورالعمل نشریه شماره ۵۶ فائو (۴) تعیین شد (جدول ۵).

جدول ۵- ضریب گیاهی ذرت در مراحل مختلف رشد (٤)

Table 5- The Corn crop coefficient at different growth stages

مراحل رشد Growth stage	اولیه Initial	توسعه Development	میانی Middle	پایانی Late
	0.4	0.7	1.1	0.5

عمق خالص آب آبیاری (d_n) براساس ET_c و با احتساب سطح سایه‌انداز و دور آبیاری (دو روز در میان) محاسبه شد (۱۳). عمق ناخالص آبیاری (d_g) بر حسب (mm) از رابطه‌ی (۲) به دست آمد:

$$dg = \frac{dn}{Ea} \quad (۲)$$

مقدار راندمان آبیاری موردانتظار در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ۹۵ درصد تعیین و در محاسبه عمق ناخالص آبیاری اعمال شد. حجم آب ورودی به کرت‌ها با استفاده از کنتور حجمی کنترل گردید. لازم به ذکر است که آبیاری تمام تیمارهای آزمایشی تا زمان جوانه زدن و سبز شدن گیاه (تقریباً ۱۰ روز پس از کشت) به طور یکسان و به روش سطحی صورت گرفته است و پس از مرحله سبز شدن گیاه آبیاری بر اساس رژیم‌های آبیاری (I_1=100، I_2=80 و I_3= 60%ET_c) اعمال شد و اندازه‌گیری اولین نمونه‌های رطوبتی خاک از هر کدام از تیمارها در زمان ۲۰ روز پس از کشت صورت گرفت که این مقادیر شرایط رطوبتی اولیه هر کدام از تیمارها را نشان می‌دهد.

به منظور ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد صفات گیاهی شامل طول بلال، قطر بلال، وزن هزار دانه، تعداد دانه در ردیف، ردیف دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه دو خط وسط هر کرت پس از حذف حاشیه‌ها برداشت و رطوبت دانه بر مبنای ۱۴ درصد محاسبه شد. سایراندازه‌گیری‌ها شامل قطر بلال، طول بلال، قطر چوب بلال، وزن هزار دانه، تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف بر روی ۱۰ بلال که بطور تصادفی انتخاب شدند اندازه‌گیری گردیدند. کارائی مصرف آب (WUE) بر حسب (Kg/m^3) از تقسیم میزان دانه تولید شده در هر کرت بر میزان آب مصرف شده در هر کرت بر مبنای کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب مصرفی و با استفاده از رابطه ۳ به دست آمد (۲۲):

$$WUE = \frac{Y}{I} \quad (۳)$$

که در این رابطه، Y = کل عملکرد محصول (Kg/ha) و I = کل آب مصرف شده (m^3/ha) است.

در این پژوهش علاوه بر ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ذرت میزان رطوبت خاک در سال اول پژوهش نیز اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری رطوبت در اعماق مختلف خاک (اعماق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰ و ۴۰-۳۰) و در زمان‌های مختلف از فصل کشت (۲۰، ۴۵، ۷۵ و ۱۰۵ روز پس از کشت) از روش نمونه‌برداری وزنی استفاده شد. نمونه‌های خاک به وسیله اگر دستی از عمق‌های موردنظر برداشته شده و سپس با استفاده از فرمول زیر درصد رطوبت هر یک از نمونه‌های خاک به دست آمد:

$$\theta = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \quad (۴)$$

که در آن Θ= درصد رطوبت خاک، W_1: وزن خالی ظرف (gr)، W_2: وزن ظرف + خاک مرطوب (gr)، W_3: مجموع وزن ظرف و خاک خشک (gr).

به منظور آنالیزهای آماری و همچنین مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی و فرعی از نرم‌افزار MSTATC استفاده گردید.

نتایج و بحث

بررسی اثر مستقل و متقابل رژیم‌های آبیاری و سطوح مختلف کودی بر میزان عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج نشان داد که اثر مستقل رژیم‌های مختلف آب آبیاری و سطوح مختلف کودی بر میزان عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین اثرات متقابل رژیم‌های مختلف آب آبیاری و سطوح مختلف کودی نیز بر میزان عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار داشت. تأثیر سال در اثرات متقابل رژیم-های مختلف آب آبیاری و سطوح مختلف کودی بر میزان عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب نیز اختلاف معنی‌داری نداشت

(جدول ۶).
نتایج مقایسه میانگین اثر رژیم‌های آبیاری بر میزان عملکرد ذرت نشان داد که بالاترین میزان عملکرد با مقدار ۸/۸۵ تن در هکتار به تیمارهای I_1 اختصاص یافت (جدول ۷). بالاترین وزن هزار دانه (۲۵۴/۱ گرم) در تیمار I_1 و کمترین مقدار آن (۹۹/۶ گرم) در تیمار I_3حاصل شد. یافته های دیگر محققان نیز نشان داد که رابطه مستقیمی بین کاهش محصول و کاهش آب مورد نیاز گیاه در کلیه مراحل رشد محصول وجود دارد. اکثر فرآیندهایی که در گیاه صورت می‌گیرد، چه به صورت مستقیم و چه غیرمستقیم به وجود آب بستگی دارد (۲۳). همچنین کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها، اختلال در فتوسنتز و جریان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی نیز باعث کاهش وزن دانه‌ها می‌شود (۷).
بیشترین تعداد دانه در ردیف بلال (۵۰/۶۳) در تیمار I_1 به‌دست آمد و کمترین آن (۳۲/۰۶) مربوط به تیمار I_3 بود. کاهش تعداد دانه در شرایط تنش خشکی، به خصوص تنش شدید به دلیل اختلال در گرده‌افشانی و تشدید پدیده عقیمی و درصد سقط جنین قابل توجیه می‌باشد (۱۷). بیشترین تعداد ردیف (۱۴/۹۰) در تیمار I_1 و کمترین تعداد (۱۲/۱۶) در تیمار I_3 به‌دست آمد. افزایش تعداد ردیف همراه با افزایش آبیاری حاکی از این است که مقادیر مختلف آبیاری دریافت مواد فتوسنتزی توسط مقاصد فیزیولوژیکی را تحت‌تأثیر قرار داده است. همچنین این صفت تحت‌تأثیر تیمار کودی نیز قرار گرفت. با کاهش مقدار آب مصرفی طول بلال کاهش یافت و بیشترین میزان طول بلال (۲۱/۰۲ سانتی‌متر) با تیمار I_1 به‌دست آمد که با تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه (تیمار I_2) اختلاف خیلی کمی داشت و کمترین میزان آن (۱۲/۷۸ سانتی‌متر) مربوط به تیمار I_3 بود (جدول ۷).

جدول ٦- تجزیه واریانس خصوصیات اندازه‌گیری شده گیاه ذرت و کارایی مصرف آب
Table 6- Variance analysis of measured characteristics of corn and water use efficiency (WUE)

منبع تغییرات Sources of changes	df	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزار دانه Thousand grain weight	تعداد دانه در ردیف بلال Number of kernels per cob row	تعداد ردیف دانه Number of kernels row	طول بلال Cob length	قطر بلال Cob Diameter	کارایی مصرف آب water use efficiency (kg/m³)
سال (Year)	1	187250.899 ns	.613.126 ns	5.378 ns	0.900 ns	7.056 ns	1.496 ns	0.001 ns
تکراردر سال (Repeat *Year)	4	674423.636	361.513	14.711	2.756	2.396	18.130	0.007
رژیم آبیاری (Irrigation regime)	2	484503082.648 **	169376.350 **	3005.744 **	71.244**	148.265**	843.242**	5.107**
سال در رژیم آبیاری (Year* Irrigation regime)	2	90005.851 ns	36.918 ns	0.011 ns	0.133 ns	0.569 ns	0.012 ns	0.002 ns
خطا (Error)	8	85796.546	29.481	0.344	0.106	0.728	0.193	0.001
کود (Fertilizer)	4	22929531.685**	34433.757**	833.928**	21.139**	96.147**	264.360**	0.428**
سال در کود (Year* Fertilizer)	4	13172.278 ns	3.032 ns	0.239 ns	0.150 ns	26.816 ns	0.021 ns	0.000 ns
رژیم آبیاری در کود (Irrigation regime* Fertilizer)	8	854858.292**	1258.190**	29.411**	1.606**	24.925**	82.163**	0.017**
سال در کود در رژیم آبیاری (Year* Fertilizer * Irrigation regime)	8	42607.988 ns	1.443 ns	0.539 ns	0.050 ns	14.155 ns	0.072 ns	0.000 ns
خطا (Error)	48	52777.839	2.503	0.119	0.142	3.788	0.057	0.000
% CV		36.72	0.79	0.79	2.7	9.97	0.49	1.55

** معنی‌داری در سطح ۱٪، *معنی‌داری در سطح ۵٪ و ns غیر معنی‌دار
**Significant level1%,* Significant level 5%, ns: Non-significant.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های اثر مستقل رژیم آبیاری و سطوح مختلف کودی بر میزان عملکرد، اجزای عملکرد ذرت و کارایی مصرف آب

Table 7- Averages comparison of irrigation regime and different rates of fertilizer on corn yield, components and WUE

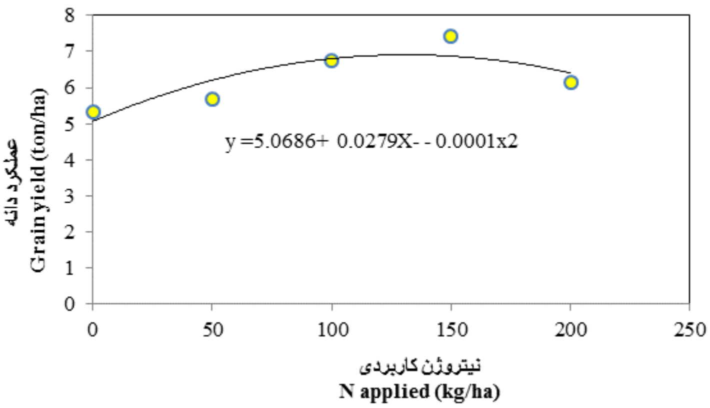
تیمارها Treatments		عملکرد دانه Grain yield (ton/ha)	وزن هزار دانه (گرم) Thousand grain weight (gr)	تعداد دانه در ردیف Number of kernels per row	تعداد ردیف دانه Number of kernels row	طول بلال Cob length(cm)	قطر بلال Cob diameter(mm)	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg/m^3)
رژیم آبیاری (Irrigation regime)	I_1	8.85 a	254.1a	50.63a	14.90a	21.02a	51.13a	0.91a
	I_2	8.35a	240.4a	47.83a	14.76a	20.74a	50.75a	1.06a
	I_3	1.60b	99.6b	32.06b	12.16b	12.78b	35.27b	0.28b
سطوح مختلف کودی (Different rates of fertilizer)	N_1	5.33d	165.6d	34.11d	12.50d	17.08c	43.82c	0.57d
	N_2	5.69d	178.4c	38.50c	13.38c	17.53bc	45.39bc	0.62c
	N_3	6.76b	206b	47.44b	13.94b	18.88a	46.75ab	0.85b
	N_4	7.43a	227.5a	49.61a	15.33a	19.40a	48.37a	0.94a
	N_5	6.13c	212.8b	47.88b	14.56b	18.00b	44.26c	0.78bc

اعدادی که دارای حروف غیرمشابه هستند در سطح ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Numbers with non-like characters have a significant difference at 1% level.

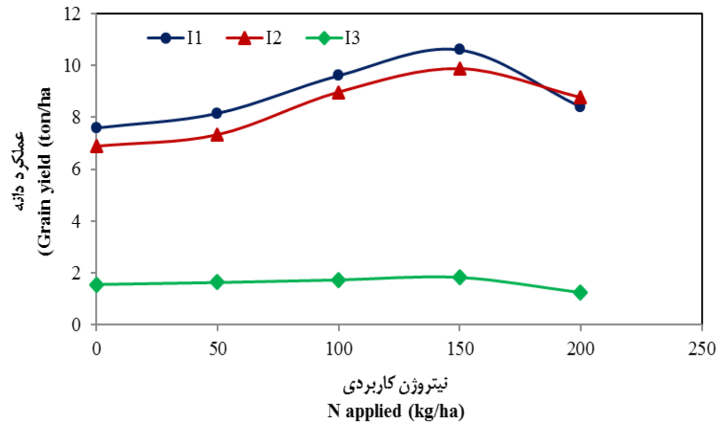
بیشترین میزان کارایی مصرف آب (۱/۰۶ کیلوگرم بر متر مکعب) در تیمار آبیاری I_2 مربوط به ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد و کمترین آن (۰/۲۸ کیلوگرم بر متر مکعب) مربوط به تیمار I_3 بود. همچنین تیمار سطوح مختلف کود نیز تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشته امّا همان طور که در جدول ۷ مشخص است کاربرد نیتروژن بیش از اندازه تاثیر منفی در عملکرد داشته به طوری که بین دو سطح کاربرد کود N_4=۱۵۰ و N_5= ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن، عملکرد تیمار N_4 بیشتر از N_5 گردیده است. مصرف بیشترکود نیتروژن موجب طولانی شدن دوره رشد رویشی، افزایش شاخ و برگ گیاه و متعاقب آن موجب افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه می‌شود و این امر می‌تواند موجب کاهش عملکرد دانه ذرت گردد (۲۴). محققان مختلفی در نقاط مختلف جهان نیز به نتایج مشابه با تحقیق حاضر دست یافتند و علاوه بر آن تابع عملکرد محصول را در برابر سطوح مختلف کود نیتروژن رسم کردند (۲۶). در این مقاله نیز تابع عملکرد محصول در برابر سطوح مختلف کودی در هر دو شرایط آبیاری کامل و نیز شرایط تنش آبی گیاه رسم گردید (شکل ۱ و ۲)

به‌طور معمول، در خاک‌هایی که کمبود نیتروژن دارند با افزودن نیتروژن عملکرد دانه ذرت افزایش می‌یابد ولی پس از رسیدن به حداکثر عملکرد اضافه کردن نیتروژن یا بر عملکرد تأثیری نداشته و یا باعث کاهش عملکرد می‌شود. با افزایش کود نیتروژن تا حد میزان توصیه شده وزن هزار دانه افزایش یافت و با افزایش بیشتر کود نیتروژن وزن هزار دانه کاهش یافت (جدول ۷). محققان گزارش کردند که با مصرف بهینه نیتروژن، برگ‌ها در مدت زمان کمتری نسبت به عدم مصرف نیتروژن رشد خود را تکمیل می‌کنند و مواد فتوسنتزی مازاد را ذخیره کرده و بعد از گرده‌افشانی به دانه منتقل می کنند (۱۲).



شکل ۱- عملکرد دانه ذرت تحت تاثیر سطوح مختلف کود نیتروژن در شرایط آبیاری کامل (I_1=100%ET_c) در طول فصل رشد (میانگین دو سال)

Figure 1- Grain yield as affected by N rates under I_1 irrigation regime (average of two years)



شکل ۲- عملکرد دانه ذرت تحت تاثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و تنش آبی گیاه در طول فصل رشد (میانگین دو سال)

Figure 2- Grain yield as affected by N rates and plant water stress during growing season (average of two years)

محققان گزارش کردند که علت کاهش وزن هزار دانه در اثر کاربرد مقادیر زیاده از حد کود نیتروژن نسبت به مصرف مقدار توصیه شده آن را می‌توان به این دلایل ربط داد که که افزایش بیش از حد کود نیتروژن با تمدید رشد رویشی، فاز زایشی گیاه را بـه تـأخیر مـی اندازد در نتیجه طول دوره‌ی پر شدن دانـه کـاهش یافتـه و دانـه‌ها فرصت زمان کمتری برای تجمع آسمیلات‌هـای فتوسـنتزی خواهنـد داشت (۲۴). کمترین میزان تعداد دانه در ردیف (۳۴/۱۱) از پایین‌ترین سطح کود (N_1) و بیشترین آن (۴۹/۶۱) در تیمار کاربرد کود برابـر بـا ۱۵۰ کیلوگرم (N_4) به‌دست آمد و با افزایش بیشتر کود کاهش یافـت (جدول ۷). بیشترین تعداد ردیف دانه (۱۵/۳۳) در تیمار N_4 و کمترین آن (۱۲/۵) در N_1 به‌دست آمد. به نظر می‌رسد صـفت فـوق صـفتی ژنتیکی بوده هر چند که مـی‌توانـد تحـت‌تـأثیر محـیط قـرار بگیـرد. همچنین سطوح مختلف کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری روی طول بلال داشت. با افزایش کاربرد کود نیتروژن تا حد ۱۵۰ کیلـوگرم در هکتـار طول بلال افزایش یافت به‌طوری‌کـه بیشـترین طـول بـلال (۱۹/۴۰ سانتی‌متر) در این تیمار کودی مشاهده شد، در حالی‌که کاربرد کود به میزان بیشتر از نیاز گیاه طول بلال را کاهش داد. همـان طـور کـه از جدول ۷ مشخص است تیمار N_4 بیشترین قطر بلال را داشته است و تیمارهای N_3 و N_2 نیز تقریبـا در یـک رده قـرار دارنـد. نکتـه جالـب کاهش قطر بلال در برابر افزایش کود بود به طـوری کـه تیمـار N_5 (حداکثر تیمار کودی) در رده آخر قرار گرفت. بیشترین میـزان کـارایی مصرف آب (۰/۹۴ کیلوگرم بر متر مکعب) در تیمار کودی N_4 به‌دست آمد و کمترین آن (۰/۵۷ کیلوگرم بر متـر مکعـب) مربـوط بـه تیمـار کودی N_1 بود.

اثر متقابل تیمار رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کودی نشان داد که تیمار I_1N_4 بیشترین (۱۰/۶ تن در هکتار) و تیمـار I_3N_5 کمترین (۱/۲۴ تن در هکتار) عملکرد داشته‌اند. آن‌چنان که در جـدول ۸ مشخص است افت شدیدی در تیمارهای I_3 با سایر تیمارها مشاهده می‌گردد. از نکات قابـل توجـه همسـطح بـودن عملکـرد تیمـار I_2N_4 نسبت به تیمار I_1N_3 می‌باشد که با اینکه آب کمتـری مصـرف شـده است امّا کاربرد بیشتر کود توانسته عملکرد را تا حدی افـزایش دهـد. همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده میکنیم اگر ما تیمـار رژیـم آبیـاری بدون تنش (I_1) 100% ET را بـا تیمـار تـنش آبـی (I_2) 60% ET_c مقایسه کنیم مشاهده می‌کنیم که اگر ما دو سطح متفـاوت کـودی را تحت این دو شرایط رژیم آبیاری به خاک اضافه کنیم مشاهده میکنیم که اعمال بیشتر سطوح کودی می‌تواند به میزان برابـر یـا بیشـتری از عملکرد در مقایسه با شرایط بدون تنش منجر شود. برای نمونه میزان عملکرد در شرایط رژیم آبیـاری I_1 (بـدون تـنش) و میـزان کـود ۵۰ کیلوگرم بر هکتار ۸/۱۳ تن بر هکتار می‌باشد و با اعمال بیشـتر کـود مثلا ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار تحت شرایط تنش آبـی رژیـم I_2 میـزان عملکرد به ۹/۸۶ تن بر هکتار می‌رسد. مقایسه ایـن دو حالـت کـاملاً نشان می‌دهد که در تنش آبی اعمال مقادیر بیشتری کود نیتـروژن در مقایسه با شرایط بـدون تـنش بـه عملکـرد بیشـتر منجـر مـی‌شـود. اثرمتقابل تنش خشکی و نیتروژن بر وزن هزار دانه معنـی‌دار بـود. در مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن مشخص شـد کـه وزن هـزار دانـه تحت‌تأثیر ترکیبات متفاوت تیماری در کلاس‌های متفاوت آماری قرار می‌گیرد. حداکثر میزان وزن هزار دانه مربوط به دو تیمار I_1N_4 و I_2N_4 به ترتیب با مقادیر ۲۸۷/۲ و ۲۸۴/۱ گرم به دسـت آمـد. حـداقل وزن هزار دانه (۹۰/۱۸ گرم) در تیمار تنش شدید خشکی و حـداکثر مقـدار کود (I_3N_5) به‌دست آمد (جدول ۸).

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دو طرفه رژیم آبیاری وسطوح مختلف کودی بر میزان عملکرد، اجزای عملکرد ذرت و کارایی مصرف آب

Table 8- Comparison of bilateral interactions effects of irrigation regimes and different rates of fertilizer on corn yield, components and WUE

تیمارها treat ments	عملکرد دانه Grain yield (ton/ha)	وزن هزار دانه (گرم) Thousand grain weight (gr)	تعداد دانه در ردیف Number of kernels per row	تعداد ردیف دانه Number of kernels row	طول بلال Cob length(cm)	قطر بلال Cob Diameter (mm)	کارایی مصرف آب water use efficiency (kg/m^3)
I1*N1	7.568 e	213.4f	42.16f	13.17e	19.67d	49.97d	0.77e
I1*N2	8.136 d	234.7e	46.66d	14.33d	19.95d	50.52cd	0.84cd
I1*N3	9.597 b	262.4c	5316b	15.17c	21.85c	51.23bc	0.98bc
I1*N4	10.600 a	287.2a	55.50a	16.33a	22.15a	53.15a	1.09b
I1*N5	8.391 d	272.7b	54.66ab	15.05bc	21.48bc	50.80cd	0.86cd
I2*N1	6.875 f	187.5h	39.33h	13.83de	19.43d	48.37e	0.87cd
I2*N2	7.320 e	201.8g	44.00e	14.50d	19.95d	49.87d	0.93c
I2*N3	8.963 c	253.2d	51.33c	1450.d	21.42bc	51.32bc	1.14ab
I2*N4	9.869b	284.1a	52.33bc	15.33b	22.03ab	52.58ab	1.26a
I2*N5	8.759 c	275.5b	51.16c	15.67b	20.88c	51.62bc	1.12ab
I3*N1	1.559g	95.87k	26.83k	12.33fg	12.15gh	33.12i	0.068i
I3*N2	1.637g	98.68jk	41.00g	12.50f	12.70g	35.80h	0.10h
I3*N3	1.738g	102.4j	37.83i	12.17fg	13.38f	37.70g	0.44f
I3*N4	1.836g	111.1i	36.83j	11.33g	14.02e	39.38f	0.46f
I3*N5	1.246h	90l.18l	23.83l	10.50h	11.63h	30.37j	0.36g

اعدادی که دارای حروف غیرمشابه هستند در سطح ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Numbers with non-like characters have a significant difference at 1% level

بیشترین تعداد دانه در ردیف (۵۵/۵) مربوط به تیمار تأمین نیاز کامل آبی و کاربرد نیتروژن برابر با ۱۵۰ کیلوگرم (I_1N_4) بود و کمترین آن (۲۳/۸۳) در تیمار تنش شدید خشکی و حداکثر نیتروژن (I_3N_5) به‌دست آمد (جدول ۸). بیشترین تعداد ردیف دانه (۱۶/۳۳) در تیمار I_1N_4 مشاهده شد و کمترین آن (۱۰/۵۰) مربوط به تیمار I3N$_5$ بود. روند تغییرات طول بلال در سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن نشان‌دهنده‌ی تأثیر معنی‌دار در سطح یک درصد این فاکتورها بر طول بلال است. بیشترین طول بلال (۲۲/۱۵ سانتی‌متر) در تیمار I_1N_4 مشاهده شد و کمترین آن (۱۱/۶۳ سانتی‌متر) مربوط به تیمار تنش شدید خشکی و بالاترین سطح نیتروژن (I_3N_5) بود. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که تیمار I_1N_4 بیشترین قطر بلال (۵۳/۱۵ میلی‌متر) را به خود اختصاص داد و کمترین آن (۳۰/۳۷ میلی‌متر) مربوط به تیمار I_3N_5 بود. بیشترین میزان کارایی مصرف آب (۱/۲۶ کیلوگرم بر متر مکعب) در تیمار I_2N_4 و کمترین آن (۰/۰۶۸ کیلوگرم بر متر مکعب) در تیمار I_3N_1 بدست آمد.

تأثیر توأم رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کود نیتروژن بر میزان رطوبت باقی‌مانده در خاک

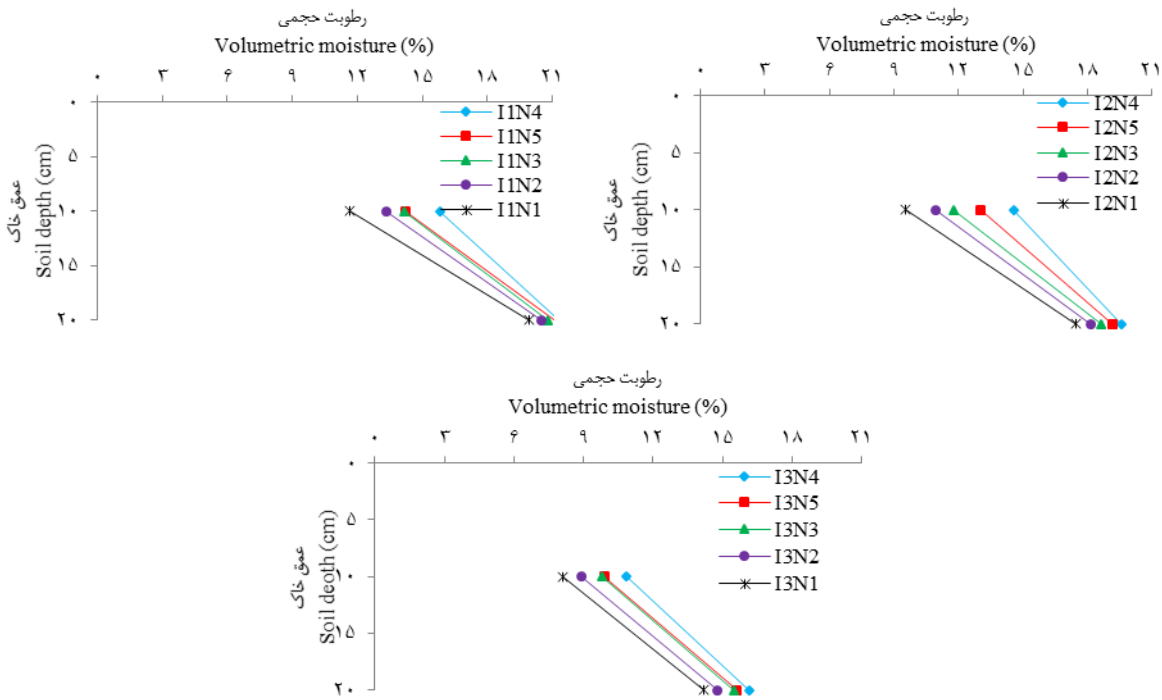
شکل ۳ رطوبت باقی‌مانده در خاک را برای تیمارهای مختلف رژیم آبیاری و کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن در عمق‌های مختلف خاک و در مرحله ۲۰ روز بعد از کاشت را نشان می‌دهد. بر طبق این نمودار در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری، رطوبت باقی‌مانده در خاک برای تیمار I_1 و تیمارهای مختلف کود نیتروژن یک اختلاف ۵ درصدی بین کمترین و بیشترین مقدار مشاهده می‌گردد با این حال برای همه تیمارهای کودی رطوبت باقی مانده در حد نقطه پژمردگی دائم است. در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی اختلاف کمی بیشتر (۶ درصد) می‌باشد امّا مقدار رطوبت باقی‌مانده در خاک برای همه تیمارها کود نیتروژن کمی کمتر از تیمار I_1 است. با توجه به کاهش بیشتر آب آبیاری در تیمار I_3 اختلاف بین کمترین و بیشترین مقدار رطوبت باقی‌مانده در خاک نسبت به دو تیمار دیگر نیاز آبی کمتر (۴ درصد) است. امّا کاهش شدید مقدار رطوبت در تمامی تیمارهای کود نیتروژن نسبت به سایر تیمارهای دیگر مشاهده شد. در عمق ۲۰-۱۰

سانتی‌متری رطوبت باقی‌مانده در خاک در تیمار نیاز آبی I_1 بین ۲۰ تا ۲۱ درصد می‌باشد این در حالی است که رطوبت باقی‌مانده در خاک در تیمار I_2 بین ۱۷/۵ تا ۱۹/۵ درصد و در تیمار I_3 بین ۱۴ تا ۱۶ درصد می‌باشد (شکل ۳). آنچنان که مشخص است دامنه اختلاف رطوبتی خاک در حدود ۲ درصد بین تمامی تیمارهای کود نیتروژن وجود داشت امّا اختلاف بین تیمارهای نیاز آبی بین ۲/۵ تا ۳ درصد مشاهده گردید.

در مرحله ۴۵ روز بعد از کاشت مشاهده می‌شود که در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری رطوبت باقی مانده در خاک برای هر سه تیمار I_1، I_2 و I_3 به ترتیب با مقادیر رطوبتی بین ۵/۳ تا ۶/۵ ، ۴/۳ تا ۴/۶ و ۲/۶ تا ۳/۶ درصد همگی به زیر نقطه پژمردگی دائم رسیده‌اند. در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری دو تیمار I_1 و I_2 تقریباً وضعیت مشابه‌ای از نظر رطوبت باقی مانده در خاک و اختلاف اندک بین تیمارهای کودی دارند (شکل ۴). در این عمق تیمار I_3 با کاهش شدید رطوبت در خاک مواجه گشته و اختلاف بین تیمارهای کود نیتروژن نیز بسیار اندک است. رطوبت باقی مانده در خاک در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری در تیمار I_3 کمترین مقدار را نسبت به دو تیمار I_1 و I_2 دارد.

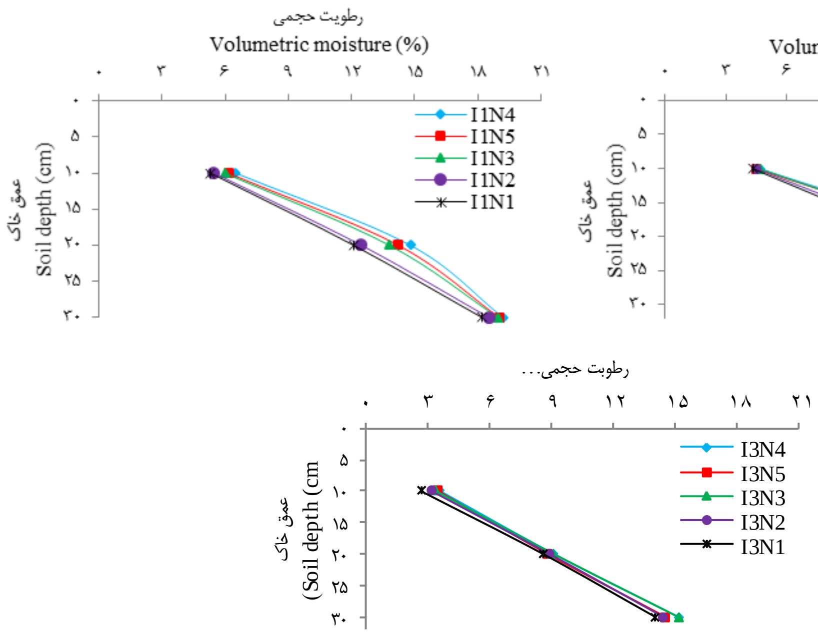
در شکل ۵ رطوبت باقی‌مانده در خاک برای تیمارهای مختلف نیاز آبی و کاربرد مقادیر مختلف کود نیتروژن در عمق‌های مختلف خاک و برای مرحله ۷۵ روز بعد از کاشت مشاهده می‌گردد. در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری در هر سه تیمار نیاز آبی اختلاف اندک رطوبت باقی‌مانده در خاک بین تمامی تیمارهای کود نیتروژن مشاهده گردید، به خصوص در تیمار I_3 این اختلاف در بین تیمارهای کودی به ۰/۳ درصد رسید. در این لایه رطوبت باقی‌مانده در خاک برای تمامی تیمارها تقریباً به کمتر از ۵ درصد رطوبت رسید که نشان از جذب بالای ریشه‌ها از این عمق دارد. در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری در دو تیمار I_1 و I_2 شاهد اختلاف اندکی در رطوبت باقی‌مانده در خاک در تیمارهای کود نیتروژن بودیم. این اختلاف در حدود ۲ درصد است در حالی که برای تیمارهای مختلف کود نیتروژن در تیمار I_3 تنها اختلاف ۰/۵ درصدی وجود داشت. در این لایه رطوبت باقی مانده در خاک برای تمامی تیمارهای کودی با نیاز آبی ۱۰۰ درصد بین ۷ تا ۹ درصد، برای تمامی تیمارهای کودی با نیاز آبی ۸۰ درصد بین ۵ تا ۷ درصد و برای تمامی تیمارهای کودی با نیاز آبی ۶۰ درصد در حدود ۵ درصد متفاوت بودند.

در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری اختلاف رطوبت باقی‌مانده در خاک برای تیمارهای مختلف کود نیتروژن برای دو تیمار I_1 و I_2 بیشتر از لایه قبلی بود و تقریباً بین کمترین و بیشترین مقدار رطوبت اختلاف ۴ درصدی وجود داشت امّا در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی اختلاف بسیار کم و در حدود ۲ درصد بود (شکل ۵).



شکل ۳- رطوبت باقی‌مانده در خاک را برای تیمارهای مختلف رژیم آبیاری و کاربرد مقادیر مختلف کود نیتروژن در عمق‌های مختلف خاک و برای مرحله ۲۰ روز بعد از کاشت

Figure 3- Residual moisture at different depths under irrigation regimes and different amounts of nitrogen fertilizer treatment at 20 days after planting (20 DAP)

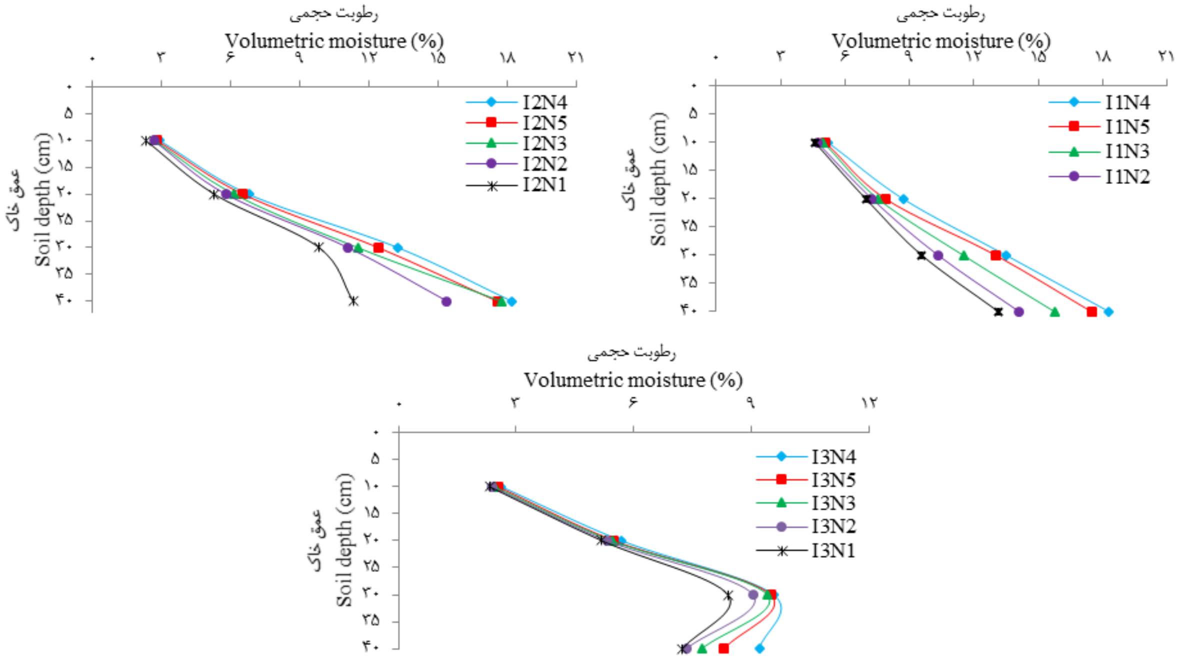


شکل ٤- رطوبت باقی‌مانده در خاک را برای تیمارهای مختلف رژیم آبیاری و کاربرد مقادیر مختلف کود نیتروژن در عمق‌های مختلف خاک و برای مرحله ٤٥ روز بعد از کاشت

Figure 4- Residual moisture at different depths under irrigation regimes and different amounts of nitrogen fertilizer at 45 days after planting (45 DAP)

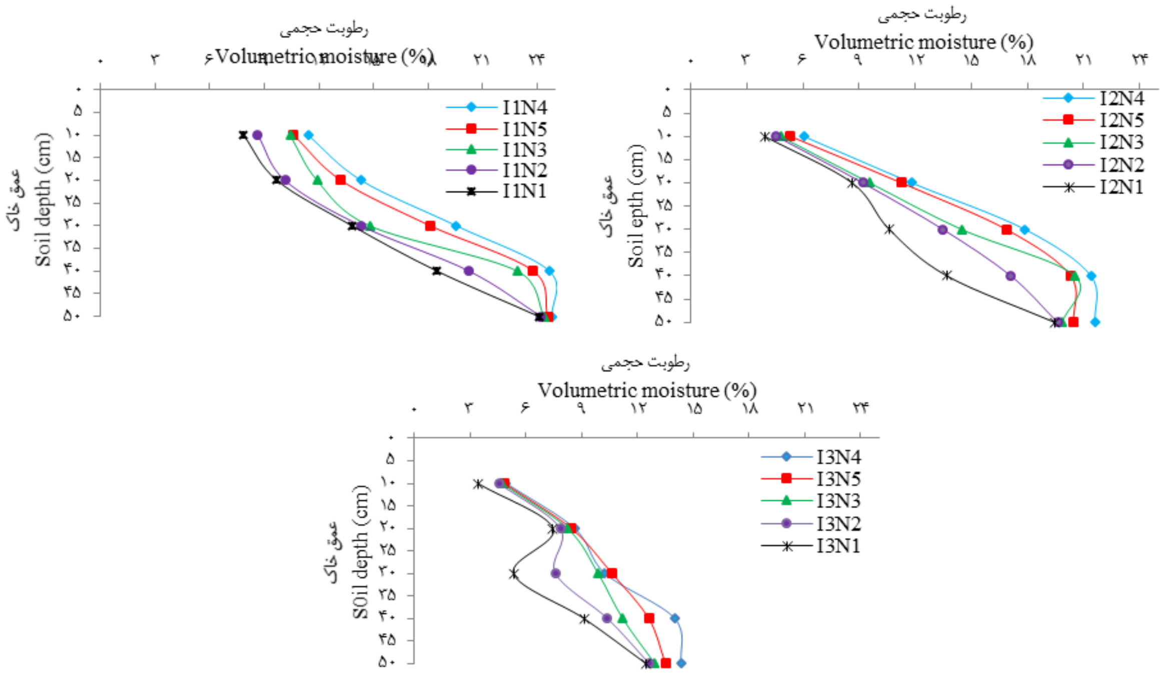
در این لایه رطوبت باقی‌مانده در خاک برای تمامی تیمارهای کود نیتروژن و نیاز آبی کمتر از ۱۵ و بیشتر از ۱۰ درصد بود. با توجه به گرمای زیاد هوا و نیاز شدید آبی گیاه در این مرحله (تولید بلال) مشاهده می‌کنیم که در هر ۳ لایه رطوبت های باقی‌مانده در خاک کمتر از ۱۵ درصد می‌باشند. در عمق ۴۰-۳۰ سانتی‌متری اختلاف رطوبت باقی‌مانده در خاک در دو تیمار I_1 و I_2 برای تمامی تیمارهای کودی بیشتر از لایه قبلی است. نکته قابل توجه در شکل ۵ روند افزایشی رطوبت باقی‌مانده در لایه‌های مختلف خاک و در تمامی تیمارهای کود نیتروژن و نیاز آبی است. امّا وضعیت فوق در عمق ۴۰-۳۰ سانتی‌متری در تیمار I_3 فرق کرده و کاهش رطوبت باقی مانده در این لایه نسبت به لایه قبل از آن مشاهده می‌گردد. کمبود شدید آب در طول دوره رشد، کاهش تراکم ریشه، نیاز شدید گیاه به آب در این مرحله از رشد و نیاز گیاه به مواد مغذی احتمالاً باعث شده است که ریشه‌ها تا حد امکان از ۳ لایه فوقانی آب و مواد مغذی را جذب کنند در نتیجه رطوبتی که به لایه آخر رسیده است کمتر می‌باشد. البته می‌تواند به خاطر عدم کفایت آبیاری و عدم نفوذ آب به عمق‌های مدنظر طبق برنامه آبیاری باشد، چرا که اگر برنامه‌ریزی آبیاری درست باشد، اصولاً باید تا عمق ریشه گیاه که قطعاً ۴۰ سانتی‌متری برای ذرت را شامل می‌شود، مرطوب نماید و علت کمتر بودن رطوبت در این عمق احتمالاً ناکافی بودن میزان آبیاری بوده است.

در مرحله ۱۰۵ روز بعد از کاشت مشاهده می‌شود و که نیاز آبی گیاه کمتر شده، دمای هوا خنک‌تر گشته و ریشه‌ها به حداکثر رشد خود رسیده‌اند (شکل ۶). مطابق شکل در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری در تیمار I_1، اختلاف۶ درصدی در رطوبت باقی مانده در خاک در بین تمامی تیمارهای کود نیتروژن مشاهده گردید، این در حالی است که در تیمارهای I_2 و I_3 این اختلاف رطوبتی در بین تیمارهای کودی بسیار کم بود. امّا از عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری که در این لایه‌ها تراکم ریشه‌های جذب‌کننده آب وجود دارند به جزء عمق ۲۰ سانتی‌متری در تیمار I_3 ، اختلاف در رطوبت باقی‌مانده در خاک در تیمارهای نیاز آبی و بین تیمارهای کود نیتروژن وجود داشت (شکل ۶). که این اختلاف در دو عمق ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری و در بین تیمارهای N_4 و N_1 دیده شد. در لایه آخر تقریبا رطوبت باقی‌مانده برای تمامی تیمارها نزدیک به هم بود. نکته قابل‌توجه رطوبت‌های بالای خاک در دو تیمار I_1 و I_2 و در دو لایه‌های آخری (اعماق ۲۰-۲۰ و ۴۰-۳۰ سانتی‌متر) است که به ۲۵ درصد نیز رسید. ظاهراً در مراحل آخر رشد، نیاز آبی گیاه کم شده و آب مازاد به لایه‌های پایین‌تر نفوذ کرد. که این اختلاف در دو لایه ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری و در بین تیمارهای N_4 و N_1 دیده شد. در لایه آخر تقریبا رطوبت باقی‌مانده برای تمامی تیمارها نزدیک به هم بود. نکته قابل‌توجه رطوبت‌های بالای خاک در دو تیمار I_1 و I_2 و در دو لایه‌های آخری است که به ۲۵ درصد نیز رسید. ظاهراً در مراحل آخر رشد، نیاز آبی گیاه کم شده و آب مازاد به لایه‌های پایین‌تر نفوذ کرد.



شکل ۵- رطوبت باقی‌مانده در خاک را برای تیمارهای رژیم آبیاری و کاربرد مقادیر مختلف کود نیتروژن در عمق‌های مختلف خاک و برای مرحله ۷۵ روز بعد از کاشت

Figure 5- Residual moisture at different depths under irrigation regimes and different amounts of nitrogen fertilizer at 75 days after planting (75 DAP)



شکل ٦- رطوبت باقی‌مانده در خاک را برای تیمارهای رژیم آبیاری و کاربرد مقادیر مختلف کود نیتروژن در عمق‌های مختلف خاک و برای مرحله ۱۰۵ روز بعد از کاشت

Figure 6- Residual moisture at different depths under irrigation regimes and different amounts of nitrogen fertilizer at 105 days after planting (105 DAP)

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که همان‌طوری که میزان عملکرد ذرت تحت تأثیر هر کدام از تیمارهای سطوح کودی دارای مقادیر مختلفی قرار گرفت و بیشترین میزان عملکرد ذرت به ترتیب در تیمارهای N_5، N_4، N_3، N_2 و N_1 مشاهده گردید. با مقایسه میزان تغییرات رطوبتی باقیمانده در خاک ما نیز شاهد این روند برای همه تیمارهای کودی در همه رژیم‌های آبیاری بودیم. همانطوری که در شکل‌های ۲ تا ۶ ارائه شده است بیشترین میزان رطوبت باقی‌مانده در خاک به ترتیب در تیمارهای N_5، N_4، N_3، N_2 و N_1 اختصاص یافته است. در نهایت نتایج این را به ما نشان می‌دهد که با مصرف و انتخاب میزان بهینه کود می‌توان به میزان عملکرد بیشتر با داشتن شرایط رطوبتی مساعد و مناسب‌تر نسبت به دیگر سطوح کودی دست یافت.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد نیتروژن بیش از اندازه تأثیر منفی در عملکرد داشته به طوری که بین دو سطح کاربرد کود N_4=۱۵۰ و N_5= ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن، عملکرد تیمار N_4 بیشتر از N_5 گردیده است. به‌طور معمول، در خاک‌هایی که کمبود نیتروژن دارند با افزودن نیتروژن عملکرد دانه ذرت افزایش می‌یابد ولی پس از رسیدن به حداکثر عملکرد اضافه کردن نیتروژن یا بر عملکرد تأثیری نداشته و یا باعث کاهش عملکرد می‌شود. مصرف کودهای نیتروژنه زیادتر از نیاز گیاه بلال‌دهی را به تأخیر انداخته و فاصله بین گرده افشانی و ظهور بلال را افزایش می‌دهد و طول دوره پرشدن دانه را ۳ تا ۴ روز کاهش می‌دهد و در نتیجه ظرفیت و عملکرد دانه کاهش می‌یابد. از نکات قابل توجه همسطح بودن عملکرد تیمار I_2N_4 نسبت به تیمار I_1N_3 می‌باشد که علی‌الرغم این که آب کمتری مصرف شده است امّا کاربرد بیشتر کود توانسته عملکرد را تا حدی افزایش دهد. با افزایش کود نیتروژن تا حد میزان توصیه شده وزن هزار دانه افزایش یافت و با افزایش بیشتر کود نیتروژن وزن هزار دانه کاهش یافت. در رابطه با کاهش وزن هزار دانه در اثر کاربرد مقادیر زیاده از حد نیتروژن نسبت به مصرف مقدار توصیه شده می‌توان گفت که افزایش بیش از حد کود نیتروژن با به تاخیر انداختن رشد رویشی، مرحله زایشی گیاه را به تأخیر می‌اندازد در نتیجه طول دوره‌ی پر شدن دانه کاهش یافته و دانه‌ها فرصت زمان کمتری برای تجمع آسیمیلات‌های فتوسنتزی خواهند داشت. کمترین میزان تعداد دانه در ردیف از پایین‌ترین سطح کود و بیشترین آن در تیمار کاربرد کود برابر با ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار (N_4) به‌دست آمد و با افزایش بیشتر کود کاهش یافت. بیشترین تعداد دانه در ردیف، ردیف دانه، طول و قطر بلال در تیمار آبیاری مطلوب و مقدار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن (N_4) مشاهده شد و کمترین آن مربوط به تیمار تنش شدید خشکی(I_3) و بالاترین سطح نیتروژن (N_5) بود. همچنین نتایج پژوهش حاکی از کاهش رطوبت باقی‌مانده در خاک در اثر کاهش مقدار آب آبیاری و کود نیتروژن در در ۲۰ روز پس از کشت می‌باشد. در مرحله ۴۵ روز بعد از کاشت مشاهده می‌شود که در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری رطوبت باقی مانده در خاک برای هر سه تیمار I_1، I_2 و I_3 همگی به کمتر از نقطه پژمردگی دائم رسیده‌اند. در مرحله ۷۵ روز بعد از کاشت، دلایلی همچون کمبود شدید آب در طول دوره رشد، کاهش تراکم ریشه، نیاز شدید گیاه به آب در این مرحله از رشد و نیاز گیاه به مواد مغذی احتمالاً باعث شده است که ریشه‌ها تا حد امکان از ۳ لایه فوقانی آب و مواد مغذی را جذب کنند در نتیجه رطوبتی که به لایه آخر رسیده است کمتر می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌شود در شرایط تنش مدیریت کاربرد نیتروژن باید مورد توجه قرار گیرد. همانطوری که میزان عملکرد ذرت تحت تأثیر هر کدام از تیمارهای سطوح کودی مختلفی قرار گرفت و بیشترین میزان عملکرد ذرت به ترتیب در تیمارهای N_4، N_3، N_5، N_2 و N_1 مشاهده گردید. با مقایسه میزان تغییرات رطوبتی باقی‌مانده در خاک ما نیز شاهد این روند برای همه تیمارهای کودی در همه رژیم‌های آبیاری بودیم. بیشترین میزان رطوبت باقی‌مانده در خاک به ترتیب در تیمارهای N_5، N_4، N_3، N_2وN_1 اختصاص یافته است. در نهایت نتایج این را به ما نشان می‌دهد که با مصرف و انتخاب میزان بهینه کود می‌توان به میزان عملکرد بیشتر با داشتن شرایط رطوبتی مساعد و مناسب‌تر نسبت به دیگر سطوح کودی دست یافت. نتایج حاصل از این پژوهش این مهم را به ما نشان می‌دهد که تحت شرایط تنش آبی ، امکان دسترسی به میزان عملکرد و کارایی مصرف آب بیشتر محصول به همراه شرایط رطوبتی مساعد و مطلوب، با اعمال میزان مناسب سطوح کودی امکان‌پذیر است و و تیمار I_2N_4 می‌تواند گزینه کاربردی مناسبی باشد.

سپاسگزاری

امکانات و تسهیلات موردنیاز برای انجام این پژوهش توسط مرکز تحقیقات و منابع طبیعی استان کرمان فراهم گردیده است که در اینجا از کلیه همکاران این مرکز قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

1- Abolhasani K., and Saeidi G. 2004. Relationships between agronomic characteristic of safflower under water

stress and control. Iranian Journal of Field Crops Research 1: 127-138. (In Persian)
2- Aghdam S.M., Yeganehpoor F., Kahrariyan B., and Shabani E. 2014. Effect of different urea levels on yield and yield components of corn 704. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2(2): 300-305.
3- Alizadeh O.P., Azari A., and Salimi M. 2009. Effects of grain yield and corn hybrids response to interaction of moisture stress and nitrogen fertilizer, First National Conference on Environmental Tensions in Agricultural Sciences. Birjand University. (In Persian)
4- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage. No, 56. FAO, Rome.
5- Babaeian M., Heidari M., and Ghanbari A. 2010. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological characterstics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 12(4): 311-391. (In Persian)
6- Ghobadi R., Shirkhani A., and Jalilian A. 2015. Effect of drought stress and nitrogen fertilizer on yield and water and nitrogen use efficiency of corn. (SC 704). Research and Construction Journal 106: 79-87. (In Persian)
7- Ghodsi M. 2004. Ecological aspects of water scarcity on wheat cultivars. Ph.D. thesis (agriculture, ecology of crops). University of Tehran. Faculty of Agriculture. (in Persian)
8- Hussaini M.A., Ogunlela V.B., Ramalan A.A., and Falaki A.M. 2008. Mineral composition of dry season maize (*Zea mays* L.) in response to varying levels of nitrogen, phosphorus and irrigation at Kadawa, Nigeria. World Journal of Agricultural Sciences 4(6): 775-780
9- Izadian M. 2016. Evaluation of Different Levels of Nitrogen Fertilizer on Agronomic Traits of Corn (Zea mays L.) Genotypes. Journal of Crop Nutrition Science 2(3): 10-18.
10- Karam F.R., Lahoud D.R., and Masaad R.Y. 2007. Evaporation, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. Journal of Agricultural Water Management 90(3): 213- 235.
11- Katsvairo T.W., Cox W.J., van Es H.M., and Glos M. 2003. Spatial yield response of two corn hybrids at two nitrogen levels. Agronomy Journal 95:1012–1022.
12- Kazemi P.H., Pirdashti H.A., and Bahmaniar M.A. 2008. Investigation of nitrogen transfer in different varieties of rice (*Oreza sativa* L.) in different levels and distribution of nitrogen fertilizer. Electronic Journal of Crop Production 1(3): 1-16. (In Persian)
13- Kosari H. 2009. Evaluation of soil surface energy balance to estimation of evapotranspiration and its components in surface and sub-surface drip irrigation systems. Irrigation and Drainage Master's thesis, University of Tehran. (In Persian with English abstract)
14- Megyes A., RatonyiT., and Huzsvai L. 2004. The effect of fertilization and irrigation on maize (*Zea mays* L.) production, www.date.hu/acta-agraria. 21- Montgomery, E.C. (1911) Corelation sudies in corn. In: Annual report No. 24. Nebrasks agricultural research sation. Lincoln, NE, (108-159)
15- Mojdem M., and Modhej A. 2012. Effect of nitrogen levels on water use efficiency, yield and yield components of corn grain under optimum conditions and drought stress. Iranian Journal of Agricultural Research 10(3): 546-554. (In Persian)
16- Modhej A., Kaihani A., and Lack S. 2014. Effect of nitrogen fertilizer on grain yield and nitrogen use efficiency in corn (*Zea mays* L.) hybrids under irrigated conditions. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences 84(3): 531-536.
17- Mojed M., Naderi A., Noormohammadi G., Saydat A., Aynband A., and mousavi E. 2008. The effect of water stress, different values and methods of nitrogen distribution on corn grain yield and nitrogen efficiency. Iranian Journal of Agricultural Sciences 39(1): 97-106. (In Persian)
18- Onasanya R.O., Aiyelari O.P., Onasanya A., Oikeh S., Nwilene F.E., and Oyelakin O.O. 2009. Growth and yield response of maize (*Zea mays* L.) to different rates of nitrogen and phosphorus fertilizers in southern Nigeria. World Journal of Agricultural Sciences 5(4): 400-407.
19- Pandey R.K., Maranwille J.W., and Admou A. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I.Grain yield and yield components. Journal of Agricultural Water Management. 46(1): 1-13
20- Payero J.O., Melvin S.R., Irmak S., and Tarkalson D. 2006. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. Journal of Agricultural Water Management 84: 101–112.
21- Rosami M., Koocheki A.R., Nassiri Mahallai M., and Kaf M. 2008. Evaluation of chlorophyll meter (SPAD) data for prediction of nitrogen satus in corn (*Zea mays* L.), American- Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences 3(1): 79-85.
22- Sakthivadivel R., de Fraiture C., Molden DJ., Perry C., and Kloezen W. 1999 Indicators of land and water productivity in irrigated agriculture. International Journal Water Resources Development 15: 161-179.
23- Sander J.Z., and Bastiaanssen W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural Water Management 69(2): 115-133.

24- Sedghi M., Nemati A., Seyyed Sharifi R., and Gholam Hosseini M. 2016. The effect of different of nitrogen rates on yield and corn fertilizer use efficiency for different planting dates in Ardabil, Journal of crop production 9(3): 45-65. (In Persian)
25- Soler C.M.T., Hoogenboom G., Sentelhas P.C., and Duarte A.P. 2007. Impact of water stress on maize grown off-season in a subtropical environment. Journal of Agronomy and Crop Science 193: 247–261.
26- Zeidan M.S., Amany A., and El-Kramany M.F. 2006. Effect of N-fertilizer and plant density on yield and quality of maize in sandy soil. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 2(4): 156-161.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, July-August 2020, p. 549-563

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۵۶۳-۵۴۹

Interaction of Irrigation Regimes and Nitrogen Fertilizer on Soil Moisture Variation and Grain Yield under Tape-Drip Irrigation System

N. Kouhi Chelle Karan[1]– H. Dehghanisanij[2]*– A. Alizadeh[3]– E. Kanani[4]
Received: 12-06-2019
Accepted: 04-04-2020

Introduction: Drought is one of the factors that threatens the performance of agricultural products, especially corn in most parts of the world. Under conditions of water scarcity, the effectiveness and efficiency of fertilizer use is reduced, especially if fertilizer application is not consistent with plant growth. Among fertilizers, nitrogen is one of the most important nutrients for corn, and consumption management of this fertilizer has great importance in order to succeed in increasing the production of corn. Therefore, in conditions of water shortage, balanced and optimal use of fertilizer should be considered to achieve increased yield and water use efficiency.

Materials and Methods: This study was conducted to investigate the effect of drip irrigation regimes and different levels of nitrogen fertilizer on yield and yield components of corn and soil moisture changes at the Shaheed Zendrh Rouh Jupar in Kerman province during the years of 2012-2014. The experiment was arranged as a split-plot design based on randomized complete block design with five irrigation regimes (I_1 = 100, I_2 = 80 and I_3 = 60% ET_c) as the main-factor and five nitrogen fertilizer level N_1 = 0, N_2 = 50, N_3 = 100, N_4 = 150 and N_5 = 200 kg/ha) as sub-factor. According to the Kerman Meteorological Station, this region has a semi-arid climate with warm summers and mild winters. To calculate the volume of water consumed, potential evapotranspiration (ET_o) was determined using daily meteorological information and Penman-Monteith method (PM). A sampling method was used to measure moisture at different depths of soil.

Results and Discussion: The results showed that the highest yield was due to I_1 treatments with 8.85 t/ha, and there was a direct relation between crop reduction and water requirement reduction at all stages of crop production. High nitrogen application had a negative effect on yield. Typically, in soils that lack nitrogen, corn grain yield increased with nitrogen addition. However, after reaching the maximum yield, nitrogen addition has no effect on increase or yield may reduce. The interactions of different levels of water and fertilizer showed that I_1N_4 and I_3N_1 treatments had the highest (10.6 ton/ha) and lowest (1.24 ton/ha) value of corn yield, respectively. The highest and lowest grain yield components (thousand grain weight, number of kernels row, number of kernels per row, cob length, cob diameter) were observed in N_1 and N_3 I_1 treatments, respectively. The highest water use efficiency (1.26 kg/m^3) was observed in I_2N_4 treatment and the lowest (0.068 kg/m^3) in I_3N_1 treatment. The results of this study showed that the remaining moisture content in soil decreased by decreasing amount of irrigation water and nitrogen fertilizer in 20 days after planting. At 75 days after planting, reasons such as severe water shortages during growth, reduced root density, high water requirement at this stage of growing season, and the plants need to nutrients have probably caused the roots to absorb as much as possible of the top three water and nutrient. As a result, the moisture that reaches the last layer is less. The results showed that in the last stages of growth compared to other stages, the plant water requirement is reduced and excess water penetrates the lower layers.

Conclusion According to the results of this study, nitrogen fertilizer at 150 kg/ha with 100% water requirement is the best combination for corn farming in semi-arid climates.

Keywords: Different fertilizer levels, Irrigation regime, Soil moisture, Surface drip

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO),Kerman, Iran
2- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz, Iran
(*- Corresponding Author Email: h.dehghanisanij@areeo.ac.ir)
3- Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
4- Ph.D. Student, Department of Irrigation and Drainage, Imam Khomeini International University
DOI: 10.22067/jsw.v34i3.80916